

моделирования конструкции. Это позволяет сократить время проектирования, но при этом учитываются свойства материала сенсора, физические и геометрические нелинейности элементов сенсора, внутренние напряжения в системе, что приближает вычисления к изготовлению реального образца.

*Работа выполнена в Томском политехническом университете при финансовой поддержке Минобрнауки России, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», Соглашение № 14.575.21.0068, уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57514X0068.*

#### Список литературы:

1. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. - М.: Машиностроение, 2007г. - 397с.
2. Костюченко Т.Г. T-FlexАнализ. Расчет собственных частот и форм колебаний конструкций. Методические указания по выполнению лабораторного практикума. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. - 21 с.

### Слуховой имплантат МЭМС

Зорина Е.В., Аршинова А.А.

Научный руководитель: Нестеренко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры ТПС  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30  
E-mail: Lenchka0892@gmail.com

Слух – одно из пяти чувств человека – способность воспринимать звуки окружающего мира. Благодаря слуху, человек различает звуки, распознает их характер, локализацию, овладевает речью. Поэтому слуховой орган человека – самый совершенный и чуткий из всех его органов чувств: в нем наблюдается наибольшая концентрация нервных клеток и окончаний (только в “улитке” – одной из частей слухового аппарата – насчитывается около 30 000 чувствительных клеток).

Человек, в дневное время суток, может слышать звуки громкостью от 10-15 дБ и выше. Максимальный диапазон частот для человеческого уха, в среднем - от 20 до 20 000 Гц (возможный разброс значений: от 12-24 до 18000-24000 герц). В молодости - лучше слышен среднечастотный звук с частотой 3 КГц, в среднем возрасте - 2-3КГц, в старости - 1КГц. Такие частоты, в первые килогерцы (до 1000-3000 Гц - зона речевого общения) - обычны в телефонах и по радио на СВ и ДВ диапазонах. С возрастом, воспринимаемый на слух звуковой диапазон сужается: для высокочастотных звуков - уменьшаясь до 18 килогерц и менее (у пожилых людей, каждые десять лет - примерно на 1000Гц), а для низкочастотных - увеличиваясь от 20 Гц и более [1].

Слуховой орган человека (рисунок 1) действует как приемник (наружное ухо), усилитель (среднее ухо) и передатчик (внутреннее ухо).

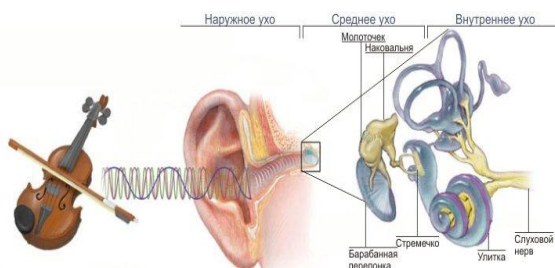


Рисунок 1 – Строение слухового органа человека

Приемник – это сама ушная раковина. В центре раковины есть костный канал, ведущий к барабанной перепонке (стенки канала выделяют воскообразное вещество, предохраняющее кожу от высыхания и шелушения).

Усилитель – система из 3-х маленьких слуховых косточек. Первая из них – т.н. молоточек (прикреплена к барабанной перепонке), вторая – стремечко (прикреплена к внутреннему уху), третья – наковальня (соединяет две первых). Это устройство усиливает движение барабанной перепонки в 20 раз.

Передающая часть уха чрезвычайно сложна. Механизмы слуха и равновесия образуют общую камеру, наполненную особой жидкостью – эндолимфой (волны звукового давления передаются через эту жидкость из среднего уха к стремечку). Механизм слуха расположен в одном конце этой камеры и имеет форму завитка, похожего на раковину улитки (поэтому он и получил название “улитка”). По всей длине улитки идет тонкая базилярная мембрана, от которой отходят к улитковому нерву тысячи нервных волокон. Изменения в высоте или громкости звуков улавливаются крошечными волосками на базилярной мембране как волны от изменения давления, которые передает эндолимфа вверх и вниз по всей длине улитки. Из улитки выходит улитковый нерв, соединенный со специализированным участком мозга – слуховым центром [2].

Функция слухового органа, по тем или иным причинам, может быть нарушена. И тогда необходимо компенсировать это нарушение. Программа дальнейших реабилитационных мероприятий зависит от вида, степени нарушения слуха, а также других факторов.

Для многих людей с потерей слуха единственным выходом оказывается кохлеарный имплантат, медицинское устройство, разработанное для того, чтобы помочь людям с тяжелой и полной потерей слуха, для которых слуховые аппараты не эффективны [3].

Кохлеарный имплантат, представляющий собой микрофон с передатчиком, который на радиочастотах передает звуковые сигналы на внутреннюю часть устройства, установленную в улитке уха, то есть на собственно имплантат. Звуковой сигнал при этом превращается в электрические импульсы, которые передаются на слуховые нейроны и отправляются дальше в кору мозга. Приёмник, преобразователь сигналов и элементы питания крепятся за ухом и порой могут доставлять известное неудобство тому, кто их носит.

Для замены кохлеарного имплантата предлагается слуховой имплантат МЭМС, в котором предлагается использовать вместо искусственного микрофона – микрофон естественный, внутреннее ухо с его системой слуховых косточек.

МЭМС – микроэлектромеханические системы – это интегрированные системы с размерами от нескольких микрометров до миллиметров, которые объединяют в себе механические и электрические электронные компоненты. MEMS состоит из механических микроструктур, микродатчиков, микроактюаторов и микроэлектроники, объединенных на одном кремниевом чипе [4].

Принцип работы слухового имплантата МЭМС заключается в том, что слуховые волны проходят через слуховой канал до мембраны, вызывая её вибрацию. Эти вибрации передаются на косточки среднего уха (молоточек, наковальня и стремечко), приводя их в движение. На косточке расположен акселерометр, который регистрирует эти колебания и передает электрические импульсы на электроды в улитку. Слуховой нерв воспринимает их и посылает в слуховой центр мозга. Мозг распознает переданные сигналы как звук.

Слуховой имплантат МЭМС поможет людям с нейросенсорной тугоухостью, вызванной неправильным функционированием волосковых клеток, когда они либо изначально дефектны, либо повреждены в течении жизни человека.

Как правило, нейросенсорная тугоухость обусловлена дефектами сенсорно-эпителиальных (волосковых) клеток спирального (кортиева) органа улитки внутреннего уха [5].

Слуховой имплантат МЭМС – прекрасная альтернатива современным слуховым аппаратам, для которых при себе необходимо иметь микрофон, который в свою очередь очень, уже не работает в бассейне или, скажем, во время дождя.

БиоМЭМС технологии востребованы по всему миру и должны развиваться как перспективное направление. Это откроет новые эпоху в медицине, которая приведет к научному прогрессу и разработке новых научных подходов, основанных на новых технологиях и знаниях.

В работе разработана конструкция чувствительного элемента для слухового имплантата МЭМС, который представляет собой микроэлектромеханический акселерометр (рисунок 2).

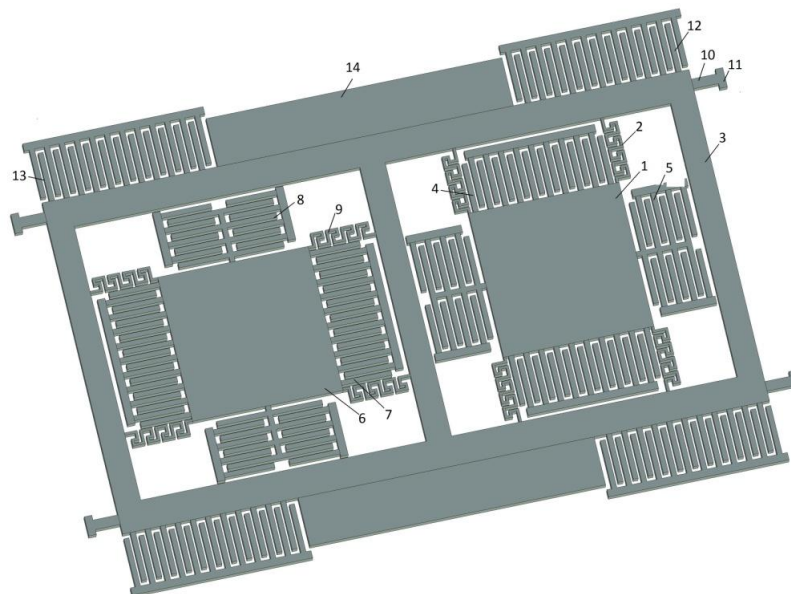


Рисунок 2 - Сенсор акселерометра

Сенсор акселерометра (рисунок 2) содержит наружную раму 9, установленную на подложке 12 при помощи упругого подвеса 9 и анкеров 10. Упругий подвес обеспечивает свободу перемещения рамы вместе с инерционными телами 1 и 6 вдоль оси Z. Инерционное тело 1 имеет возможность перемещаться на упругом подвесе 2 вдоль оси X. Инерционное тело 6 перемещается вдоль оси Y.

Для преобразования перемещения выбирается емкостное преобразование, заключающееся в изменении емкостей между подвижными электродами, располагаемыми на подвижном элементе прибора и неподвижными электродами, размещаемыми на элементах корпуса.

#### Список литературы:

1. Громкость звука. Уровень шума и его источники. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kakras.ru/doc/shum-decibel.html>, свободный.
2. Тема №8: Строение и работа слухового аппарата человека. [Электронный ресурс]. – URL: [www.mysticism.ru/index.php?topic=985.0;wap2](http://www.mysticism.ru/index.php?topic=985.0;wap2), свободный.
3. Слуховые импланты MED-EL. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.medel.com/ru/>, свободный.
4. В. Я. Распопов – Микромеханические приборы, 2007. -400с. С 12.
5. Нейросенсорная тугоухость// Википедия. Дата обновления: 22.01.2015. [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейросенсорная\\_тугоухость](https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейросенсорная_тугоухость), свободный.